



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑲ Aktenzeichen: 196 08 949.2
⑳ Anmeldetag: 8. 3. 96
㉑ Offenlegungstag: 11. 9. 97

DE 196 08 949 A 1

㉒ Anmelder:

Spitzl, Ralf, Dr., 53639 Königswinter, DE;
Aschermann, Benedikt, Dipl.-Phys., 42111
Wuppertal, DE

㉓ Erfinder:

gleich Anmelder

㉔ Entgegenhaltungen:

DE 1 95 07 077 C1
FR 26 68 676 A2
US 94 76 968
US 54 87 875
US 52 96 784
US 51 34 965
US 50 63 330
US 37 78 656

J.Phys.D: Appl.Phys., Bd. 22 (1989) S. 1613-1619;
J.Vac.Sci.Technol., Bd. A13 (1995) S. 2074-2085;
Abstract zur JP 07-099099 (A);
J.Appl.Phys., Bd. 67 (1990) S. 115-123;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉕ Vorrichtung zur Erzeugung von leistungsfähigen Mikrowellenplasmen

㉖ In einer Vorrichtung zur Erzeugung leistungsfähiger Mikrowellenplasmen ist der Resonator als Koaxial-Resonator mit Innen- und Außenleiter ausgebildet. Die Mikrowelleneinkopplung in die Plasmakammer erfolgt über die Abgrenzungen des Koaxial-Resonators.

DE 196 08 949 A 1

Mikrowellenplasmen werden in technischen Bereichen wie z. B. der Herstellung bzw. Bearbeitung von Bauteilen, in der Mikroelektronik, bei der Beschichtung, in der Gaszersetzung, der Stoffsynthese oder der Materialreinigung eingesetzt.

In den Vorrichtungen werden die Mikrowellen in die Plasmakammer mit dem darin befindlichen Rezipienten d. h. Nutzraum aus einem Mikrowellenerzeuger ggf. über eine Zuleitung zu einem Hohlleiterresonator mittels Koppelstellen geleitet. Üblich sind besonders Ringresonatoren, d. h. ringförmig ausgebildete Hohlleiterresonatoren mit geringer Länge entlang ihrer Achse, verglichen mit dem relativ großen Durchmesser des Querschnitts des Resonatorrings. Häufig hat die Achse des Ringresonators und die Achse des in diesem Falle z. B. als Rohr ausgebildeten Plasmakammer die gleiche oder eine gemeinsame z-Achse.

Nach DE 196 00 223.0-33 hat der Resonatorring einen rechteckigen Querschnitt und die Koppelstellen liegen z. B. als Schlitz in der kurzen Querschnittsseite. Solche Vorrichtungen zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen besitzen gute Wirksamkeit. Es besteht jedoch Bedarf nach homogenen und leistungsfähigeren Plasmakammern und einfacher gestalteten Vorrichtungen.

Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen, deren Resonator als Koaxial-Resonator mit Innen- und Außenleiter ausgebildet ist. Soweit Leiter ganz oder teilweise die Innen- und Außenabgrenzung des Resonators bilden, ist deren Form und die Form der Leiter beliebig. Beide Leiter haben bevorzugt eine ähnliche, gleichartige, oder gleiche Achsenrichtung oder eine gemeinsame Achse z.

Die Fertigung erfolgt aus Hohlprofilen, vorzugsweise z. B. Walzprofilen, gestreckter Art, die als koaxialer Leiter ineinander angeordnet sind und an den Enden abgeschlossen oder offen sein können. Einfach gestaltbare Beispiele sind zwei Rohre bzw. Zylinder beliebiger, auch eckiger Grundfläche, die ineinander angeordnet sind.

Ein Draht oder massiver Zylinder als Innenleiter ist bevorzugt, wenn nur über den Außenleiter gekoppelt wird.

Der Resonator kann im wesentlichen die gleiche Achse in z-Richtung wie die Plasmakammer besitzen und Resonator und Plasmakammer können entlang der z-Richtung gleich lang oder nicht gleich lang ausgebildet sein.

Alle Bauteile können auch mehrfach in der Apparatur enthalten sein.

Die Erfindung geht also ab von schmal ausgebildeten Resonatorringen von verschiedener Form des Querschnitts, die etwa die Form eines Fingerrings haben, der den Finger einer Hand umfaßt. Statt dessen ist der Resonator erfindungsgemäß langgestreckt und kann z. B. als Hülle wie der Raum einer Fingerhülle des Handschuhs um den Finger auf im wesentlichen ganzer Länge in Richtung der z-Achse ausgebildet sein. Plasmakammer und Resonator sind erfindungsgemäß nicht an eine bestimmte Form der Hohlkörper gebunden. Der Innen- und Außenleiter des Koaxial-Resonators besitzt sehr bevorzugt im wesentlichen mit ihrer langen oder längsten Achse, genannt z-Achse, im wesentlichen die gleiche Richtung. Bevorzugt ist die gleiche Richtung der Achsen von Kammer und Resonator, eine gemeinsame oder parallele Achse, jedoch ist auch ein geringer Winkel oder eine Verkipfung bis zu 90° zwischen den Achsen beider Bauteile möglich.

Koaxiale Leiter aus flexiblen Metallschläuchen hergestellt, z. B. als Wendelstreifen oder ineinander greifenden Ringen sind möglich, wobei zwei ineinander angeordnete Schläuche oder ein Schlauch gewandelt um z. B. eine rohrförmige oder eiförmige Kammer als der eine Leiter, den Resonator bilden. Die Wand der Plasmakammer kann der eine Leiter sein, wobei die Form der Plasmakammer beliebig ist, aber stetige Ausbildung als Rohr, Kugel oder Zylinder bevorzugt sind.

In allen Fällen können Kammer und Resonator gleich oder ungleich lang sein, wobei eine oder auch mehrere Kammern, ein oder mehrere Koaxial-Resonatoren oder geteilte Kammern oder Koaxial-Resonatoren ausgebildet sein können.

Koppelstellen als z. B. Antennen oder bevorzugt als Schlitz bzw. Aussparungen können an den Wandungen des Koaxialresonators, d. h. an den mit der Kammer gemeinsamen Wänden, in beliebiger Zahl, bevorzugt in der für die jeweils gewählte Plasmamode benötigten Zahl, Geometrie und Anordnung angeordnet sein.

Die Mikrowellenquelle kann direkt, über ggf. geregelte Zuleitung oder über einen weiteren Resonator an einer beliebigen Stelle des Koaxial-Resonators, auch an der Innenabgrenzung, angeordnet sein.

Gemäß dieser Erfindung besteht nicht mehr die Notwendigkeit, die Kammer nur innerhalb des Resonators anzuordnen. Eine im Innenleiter ganz oder teilweise angeordnete Innenkammer ist möglich, auch eine Außenkammer und ggf. sowohl eine oder mehrere Außenkammern und ein oder mehrere Innenkammern mit jeweils darin angeordnetem Nutzraum bzw. Rezipienten mit dielektrischen Wandungen von beliebiger Gestalt.

Der Koaxial-Resonator der Erfindung ermöglicht somit eine Vielfalt der Gestalt und Ausbildung. Auch die Plasmakammer kann der oder ein zusätzlicher Resonator oder dessen Teil sein. Bevorzugt ist hierbei die Ausbildung der Plasmakammer als Zylinderresonator und die damit verbundene Ausbildung bestimmter Moden.

Für die Moden der jeweiligen Art sind bestimmte apparative und geometrische Ausbildungen der Vorrichtung besonders geeignet. Eine TEM- oder TM_{01} -Mode im Koaxial-Resonator bildet sich optimal zwischen zwei bevorzugt zylindrischen elektrisch leitenden Rohren von unterschiedlichem Durchmesser. Darin sind auch beliebige TE_{nm} oder TM_{nm} Feldverteilungen möglich. Die Länge beider Rohre beträgt bevorzugt ein vielfaches der halben Leitungs-Wellenlänge der verwendeten Mikrowelle. An beiden Enden sind dann die Rohre elektrisch leitend begrenzt, z. B. durch eine Wand, gasdurchlässiges Gitter oder einen Kurzschlußschieber.

Der bzw. die Rezipienten, wie üblich aus dielektrischem Material, können gemäß der Erfindung großvolumig sein und bei Teilung verschiedenen Aufgaben dienen. Im Falle eines großräumigen außen angeordneten Rezipienten ist eine metallische Abschlußwand nicht zwingend erforderlich.

Permanentmagnete oder Spulenarrangements z. B. nach Helmholtz um das jeweils äußere Rohr oder die metallene Außenwand ermöglichen in der Kammer die Bedingungen für Elektronen Zyklotron Resonanz Plasmen. Eine Anordnung von Magneten im Innenleiter des Koaxial-Resonators ist ebenso möglich.

Fig. 1 zeigt in Fig. 1a einen Schnitt durch eine Vorrichtung entlang der z-Achse, Fig. 1b die dazugehörige Aufsicht. Dargestellt ist eine Vorrichtung mit Innenwand 2 und Außenwand 3 eines rohrförmigen Koaxial-Resonators mit Mikrowellenquelle 4, die in den Resona-

tor zwischen 2 und 3 einkoppelt, und Rezipienten 1. In Fig. 1 sind zwei Koppelschlitze 5 als umlaufende Schlitze in der Innenwand 2 ausgeführt; diese stehen somit senkrecht zur z-Achse der Vorrichtung. Koaxial-Resonator und innenliegende Plasmakammer, die als Zylinderresonator ausgeführt ist, zeigen in diesem Ausführungsbeispiel gleiche Länge in z-Richtung. 10 ist ein optionales z. B. metallisches Gitter, welches die Plasmakammer in zwei Kammern aufteilt. Im oberen bzw. unteren Abschluß der Plasmakammer sind Öffnungen 6 für die Zu- bzw. Abfuhr von z. B. Prozeßgasen eingezeichnet.

Fig. 2 zeigt eine ähnliche Vorrichtung wie Fig. 1, jedoch sind hier die Koppelstellen 5 als Längsschlitze in der Wand des inneren Koaxialleiters angeordnet und verlaufen somit parallel zur z-Achse der Vorrichtung. Weiterhin sind in Fig. 2 einige Abstimmöglichkeiten von Koaxial-Resonator und Plasmakammer exemplarisch aufgeführt. Der Abschlußschieber 7 dient zur Abstimmung des Koaxial-Resonators. Der Abstimm-Stift bzw. Schraube 8 dient dem gleichen Zweck. Die Lage und Anzahl solcher Abstimmelemente kann nach Bedarf variiert werden. Der Abstimm-Stift 9 zeigt eine Abstimmöglichkeit für die Plasmakammer. Eine ähnliche Funktion hat auch ein hier nicht gezeigter Abschlußschieber, der die Länge der Plasmakammer verändert. Die Pfeile in der Figur geben die Bewegungsrichtung der Abstimmelemente an.

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt einer Vorrichtung mit außenliegender, hier nicht vollständig dargestellter Plasmakammer. Der Mikrowellenerzeuger 4 ist im Inneren des Innenleiters 2 des Koaxial-Resonators angebracht. Die Koppelstellen 5 sind als drei azimutale, teilweise umlaufende Koppelschlitze in der Außenwand des Koaxial-Resonators ausgeführt.

In Fig. 4 sind weitere Ausführungsbeispiele der Vorrichtung skizziert, wobei in Fig. 4a ein Schnitt durch eine Vorrichtung mit sowohl innerer Plasmakammer 11 als auch außenliegender Kammer 12 dargestellt ist. Bei Bedarf können die Plasmakammern 11, 12 mit Rezipienten ausgestattet werden.

Fig. 4b zeigt einen Schnitt durch eine Vorrichtung, bei der die Mikrowelle in einen Zylinderresonator 13 direkt eingekoppelt wird und dieser Resonator über einen umlaufenden azimuthalen Schlitze mit dem Koaxial-Resonator gekoppelt ist. Die Einkopplung in die als weiterer Zylinderresonator ausgebildete Plasmakammer 11 mit Rezipient 1 erfolgt über weitere Koppelschlitze.

Fig. 4c zeigt einen Schnitt durch eine Vorrichtung, worin ein z. B. schraubenförmig gewendelter Koaxial-Resonator mit Außenleiter 3 und gleichartig gewendetem z. B. als Draht ausgebildeter Innenleiter 2 in einer zylindrischen Kammer 12 liegt. Eine Bauform, bei der der Koaxial-Resonator in gewendelter bzw. gewickelter Form mit dem Außenleiter eine Kammer ganz oder teilweise umschließt, d. h. wie z. B. eine Band oder eine Schnur eine Kammer umwickelt ist ebenfalls möglich.

Fig. 4d zeigt einen Schnitt durch eine Vorrichtung, mit kugelförmiger Plasmakammer 11. Die Antenne des Mikrowellenerzeugers 4 ist direkt mit dem Innenleiter 2 des Koaxial-Resonators verbunden. Der Außenleiter 3 ist zum Mikrowellenerzeuger 4 hin kegelförmig verjüngt. Über einen azimutalen Koppelschlitz 5 wird die Mikrowellenleistung in die Plasmakammer gekoppelt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasma mit Mikrowellenerzeuger, Resonator mit Koppelstellen, Plasmakammer und ggf. Rezipienten bestehend aus einem Resonator, dessen Außen- und Innenabgrenzung als Außen- und Innenleiter eines Koaxial-Resonators mit oder ohne geometrische Vorzugsrichtung ausgebildet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmakammer vom Resonator ganz oder teilweise umfaßt ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator von der Plasmakammer ganz oder teilweise umfaßt ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb und/oder außerhalb des Resonators eine oder mehr Kammern angeordnet sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Koaxial-Resonator und die Plasmakammer gleiche Vorzugsrichtung haben.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1—5, dadurch gekennzeichnet, daß der Koaxial-Resonator und die Plasmakammer gleich lang ausgebildet sind.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1—5, dadurch gekennzeichnet, daß der Koaxial-Resonator und die Plasmakammer verschieden lang ausgebildet sind.
8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen für die Ein- bzw. Auskopplung der Mikrowellen von dem Resonator in bzw. an den Wandungen des Koaxial-Resonators angeordnet sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß Koppelstellen in oder an der gemeinsamen Wand von Kammer und Resonator ausgebildet sind.
10. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen Stabantennen oder/und Schlaufen oder/und Schlitze oder/und Aussparungen sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmakammer geteilt ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmakammer durch Trennung senkrecht zur Vorzugsrichtung geteilt ist.
13. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmakammer als Resonator oder als zusätzlicher Resonator ausgebildet ist.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer als Zylinderresonator ausgebildet ist.
15. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Zuleitungen der Mikrowelle an ein oder mehrere Koaxial-Resonatoren ausgebildet sind.
16. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Koaxial-Resonatoren über Koppelstellen an eine oder mehrere Plasmakammern angekoppelt sind.
17. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die Koaxial-Resonatoren oder/und der oder die Plasmakammern teilweise oder ganz mit einem Di-

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig.1a

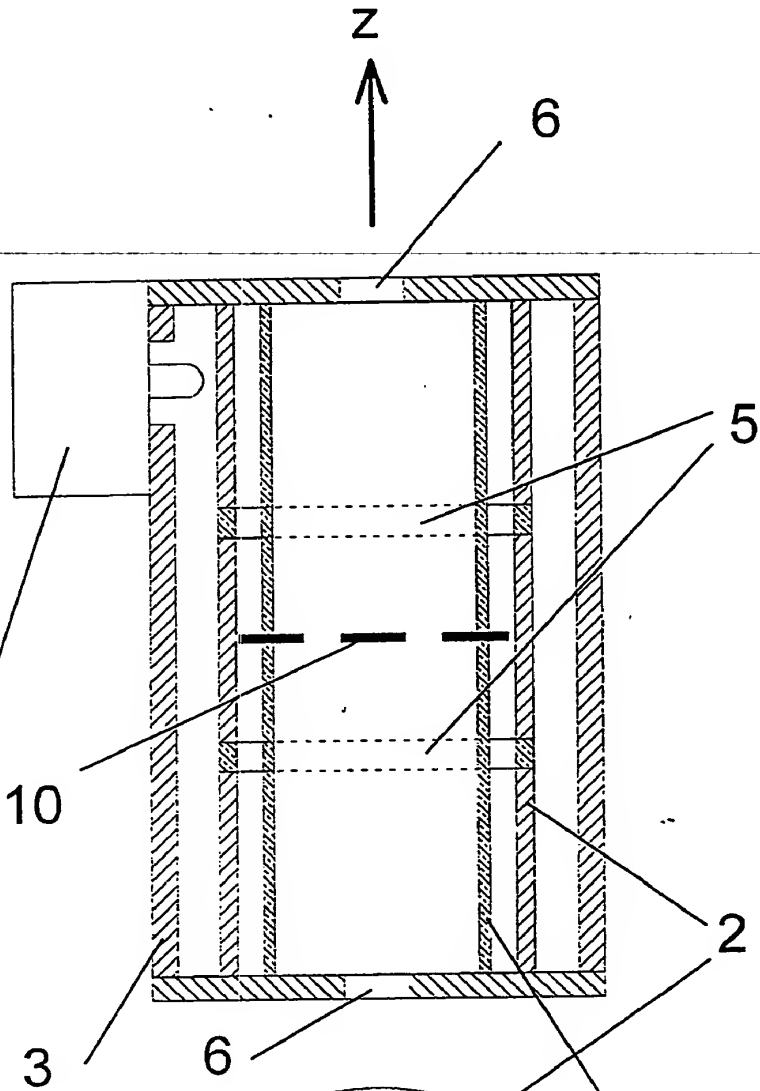
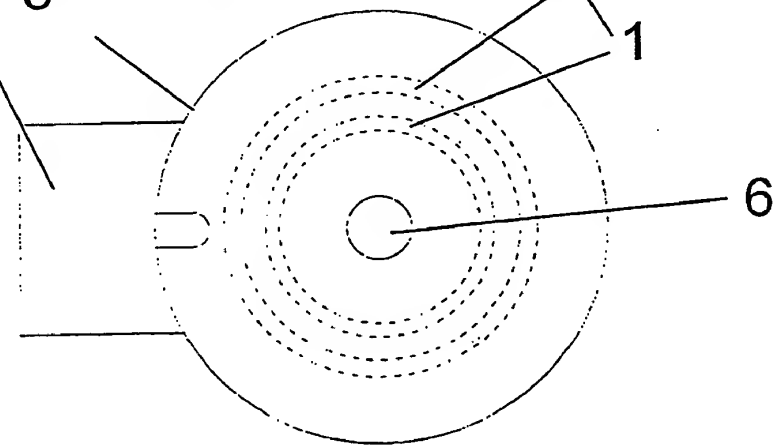
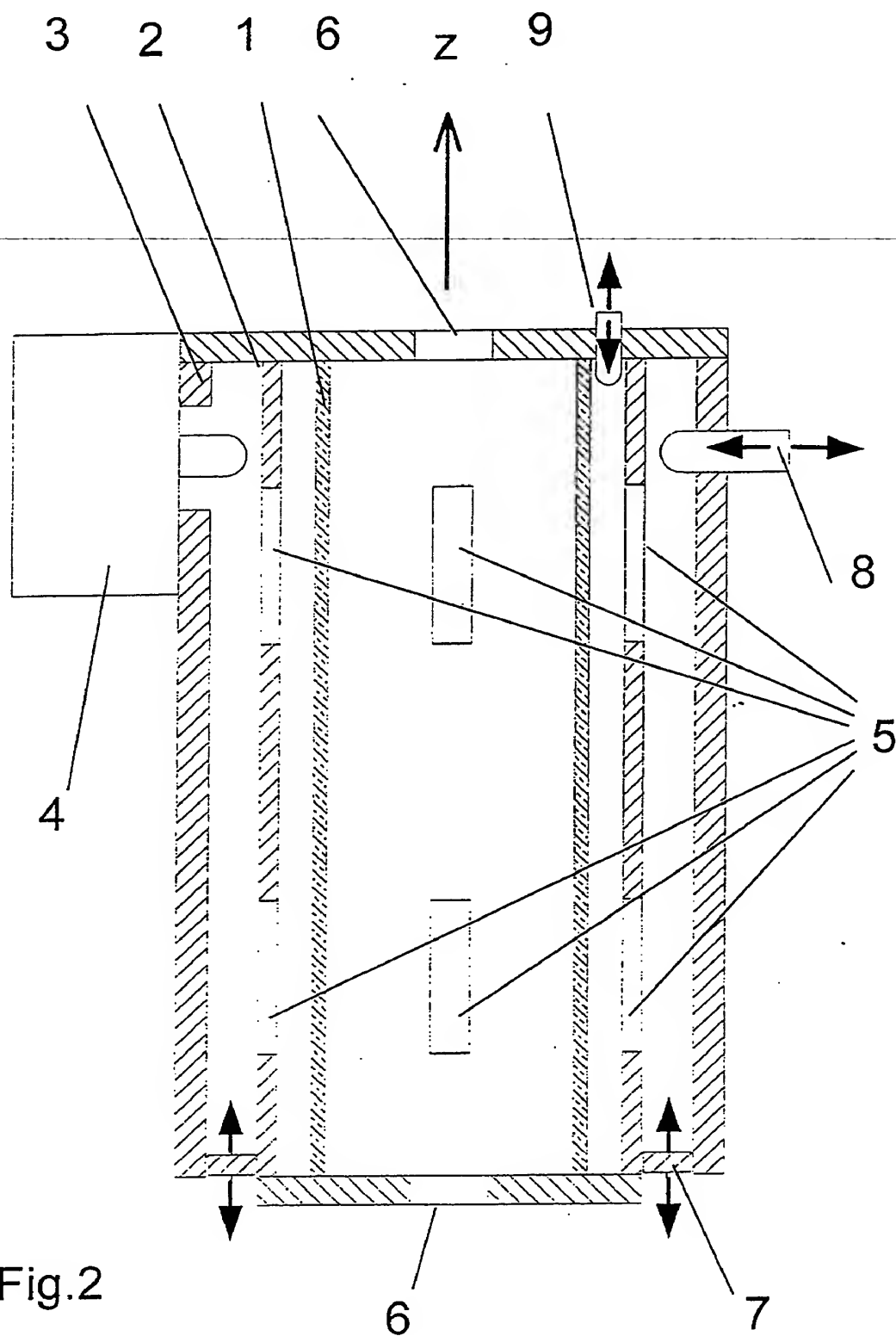


Fig.1b





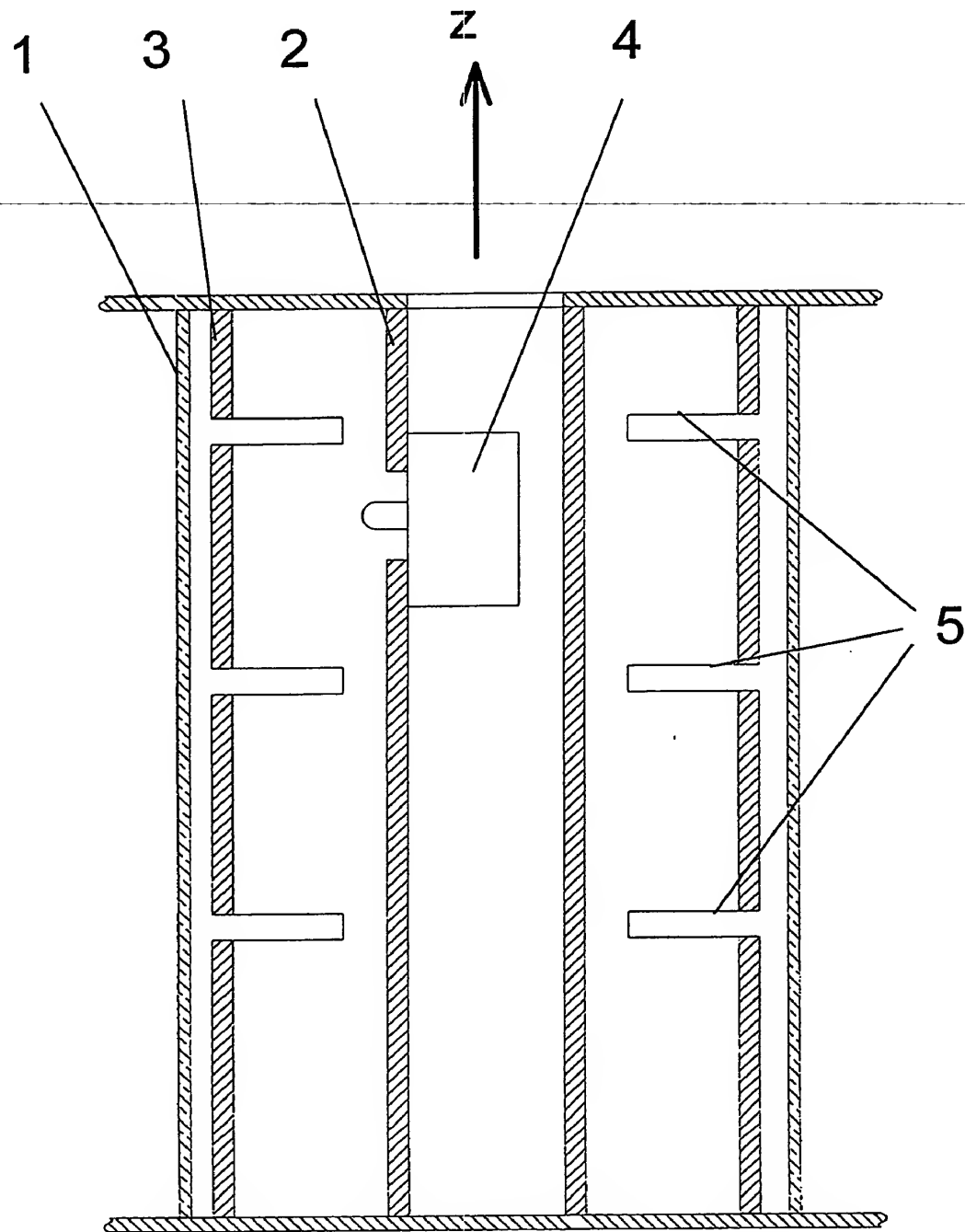


Fig.3

